

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**

(11) Publication number : 2000-332342  
 (43) Date of publication of application : 30.11.2000

---

(51) Int.Cl. H01S 5/028  
 G02B 5/08  
 G02B 5/26  
 G02B 5/28

---

(21) Application number : 11-209020 (71) Applicant : FUJITSU LTD  
 (22) Date of filing : 23.07.1999 (72) Inventor : SHOJI HAJIME  
 YONEDA  
 MASAHIRO  
 SODA HARUHISA

---

(30) Priority  
 Priority 11070346 Priority 16.03.1999 Priority JP  
 number : date : country :

**(54) FORMATION OF REFLECTIVE FILM, LASER AND OPTICAL DEVICE****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To evaluate the characteristics of a semiconductor laser under conditions close to actual working environment by determining the film thickness of a third layer to satisfy a specified formula and forming a third layer having thus determined film thickness on the surface of the uppermost second layer.

SOLUTION: First layers having refractive index n1 and second layers having refractive index n2 are formed alternately by k sets (k is a positive integer) on the surface of the reflective plane of an optical medium. Thickness d3 of a third layer having refractive index n3 is determined to satisfy a relation  $d_3 = d + (\frac{1}{2}n_1) \times N_3$  ( $N_3$  is 0 or a positive integer), assuming the film thickness of the first layer is  $(\frac{1}{4} + \frac{1}{2}) \times N_1 / n_1$  ( $N_1$  is 0 or a positive integer) and the thickness of the second layer is  $(\frac{1}{4} + \frac{1}{2}) \times N_2 / n_2$  ( $N_2$  is 0 or a positive integer). The third layer is formed on the surface of an uppermost second layer.

$$\cos^2 \Delta = \frac{\frac{n_1^2}{n_3 n_2} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\left(1 + \frac{n_1^2}{n_3 n_2}\right) (n_1^2 a^4 - n_3^2)}$$

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda}$$

$$a = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^k$$

INSTITUTE OF  
THE BIBLE (CSTC)

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 公開番号  
特開 2000-332342  
(P2000-332342A)

(43) 公開日 平成 12 年 11 月 30 日 (2000.11.30)

(51) Int.Cl.  
H01S 5/028  
G02B 5/08  
/26  
/28

F I  
H01S 3/18 618 2H042  
G02B 5/08 A 2H048  
/26  
/28

テーマコード (参考)

(21) 出願番号 特願平 11-209020 (P11-209020)  
(22) 出願日 平成 11 年 7 月 23 日 (1999.07.23)  
(31) 優先権番号 特願平 11-070346 (P11-070346)  
(32) 優先日 平成 11 年 3 月 16 日 (1999.03.16)  
(33) 主張国 日本 (JP)

審査請求 未請求 請求項の数 1 OL (全 11 頁)  
(71) 出願人 000005223  
富士通株式会社  
(72) 発明者 小路 元  
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号 富士通株式会社内  
米田 昌博  
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号 富士通株式会社内  
雙田 晴久  
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号 富士通株式会社内  
(75) 代理人 100091340  
弁理士 高橋 敬四郎

(54) 発明の名称 反射膜の製造方法、レーザ装置、及び光学装置

(57) 要約

【課題】 実際の使用環境に近い条件で半導体レーザ装置の特性評価を行うことが可能な反射膜の製造方法を提供する【解決手段】 屈折率  $n_0$  の光学媒質を準備する。反射すべき光の波長  $\lambda$  を決定する。基準屈折率  $n_{s1}$  と  $n_{s2}$  を決定する。光学媒質の反射面の表面上に、屈折率  $n_1$  の第 1 の層と屈折率  $n_2$  の第 2 の層とを交互に  $k$  組成膜する。第 1 の層の膜厚は、 $\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_1$  ( $N_1$  は 0 または正の整数) であり、第 2 の層の膜厚は、 $(\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_2) / n_2$  となる。屈折率  $n_1$  の第 3 の層の膜厚を  $d_3$  としたとき、 $d_3 = d + (\lambda/2 n_1) \times N_3$  及び【数 1】

$$n_{s2}^2 \Delta = \frac{n_1^2 n_2^2 d^2 - n_1^2}{n_2^2 n_1^2}$$

$$\Delta = \frac{2\pi d}{\lambda}$$

$$d = \left( \frac{\Delta}{\pi} \right)^2$$

( $k$  は 0 または正の整数)

を満足するように第 3 の層の膜厚  $d$  を決定する。

<1000002>

(特開 2000-332342)

(1)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反射面を有する屈折率  $n_0$  の光学媒質を準備する工程と、反射すべき光の波長  $\lambda$  を決定する工程と、相互に異なる 2 つの基準屈折率  $n_{s1}$  と  $n_{s2}$  を決定する工程と、前記光学媒質の反射面の表面上に、屈折率  $n_1$  の第 1 の層と屈折率  $n_2$  の第 2 の層とを交互に  $k$  組 ( $k$  は正の整数) 成膜する工程であって、該第 1 の層の膜厚が、【数 1】  $(\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_1) / n_1$  ( $N_1$  は 0 または正の整数)

となり、該第 2 の層の膜厚が、【数 2】  $(\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_2) / n_2$  ( $N_2$  は 0 または正の整数)

となるように成膜する工程と、屈折率  $n_1$  の第 3 の層の膜厚を  $d_3$  としたとき、【数 3】  $d_3 = d + (\lambda/2 n_1) \times N_3$  ( $N_3$  は 0 または正の整数)

及び【数 4】

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、反射膜の製造方法、反射膜、及び反射膜を用いたレーザ装置、光学装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

反射すべき光の波長の  $1/4$  の光学膜厚を有する 2 種類以上の薄膜を積層した多層膜構造の反射膜が知られている。この多層膜構造の反射膜を、レーザダイオードの光共振器の端面に形成することにより、低しきい値化、高出力化等を図ることができる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

一対の共振器端面を有する半導体レーザ装置のレーザ特性の指標となる基本的なパラメータとして、しきい値利得、外部微分量子効率、前後比、及びスロープ効率が挙げられる。しきい値利得  $g_{th}$  は、【0004】

【数 4 0】

$$g_{th} = \alpha_i + (1/L) \ln (1/(R_f R_r)^{1/2})$$

と定義される。ここで、 $\alpha_i$  は、光共振器内の内部損失、 $L$  は共振器長、 $R_f$  及び  $R_r$  は、それぞれ前端面及び後端面の反射率である。

【0005】

外部微分量子効率  $\eta_d$  は、【0006】

【数 4 1】

$$\eta_d = \eta_i \times \ln (1/R) / (\alpha_i L + \ln (1/R))$$

と定義される。ここで、 $\eta_i$  は、内部量子効率であり、 $R = R_f = R_r$  と仮定した。

【0007】

前後比  $r$  は、【0008】

【数 4 2】

$r = ((1 - R_f) / (1 - R_r)) \times (R_r / R_f)^{1/2}$  と定 50

(2)

義される。スロープ効率  $S_d$  は、【0009】

【数 4 3】

$S_d = 1.24 \times \eta_d / \lambda$  と定義される。ここで、 $\lambda$  は、発振波長である。

【0010】

上記定義式から分かるように、反射率  $R_f$  及び  $R_r$  が低下すると、外部微分量子効率  $\eta_d$  及びスロープ効率  $S_d$  は向上するが、しきい値利得  $g_{th}$  が増加する。すなわち、しきい値電流が増加してしまう。特に、高温動作環境においては、しきい値電流の増加により光出力特性が損なわれる場合がある。

【0011】

通常、レーザダイオードの特性評価は、大気もしくは不活性ガス雰囲気中で行われる。ところが、実際の動作時には、レーザダイオードを実装基板上に実装した後、樹脂等で被覆する。光共振器の反射端面を樹脂で被覆すると、反射率が低下し、しきい値利得  $g_{th}$  が増加してしまう。このため、実際の使用環境下における光出力特性を評価することが困難である。

【0012】

本発明の目的は、実際の使用環境に近い条件で半導体レーザ装置の特性評価を行うことが可能な反射膜、その製造方法、及び半導体レーザ装置を提供することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明の一観点によると、反射面を有する屈折率  $n_0$  の光学媒質を準備する工程と、反射すべき光の波長  $\lambda$  を決定する工程と、相互に異なる 2 つの基準屈折率  $n_{s1}$  と  $n_{s2}$  を決定する工程と、前記光学媒質の反射面の

表面上に、屈折率  $n_1$  の第 1 の層と屈折率  $n_2$  の第 2 の層とを交互に  $k$  組 ( $k$  は正の整数) 成膜する工程であって、該第 1 の層の膜厚が、【0014】

【数 4 4】

$$(\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_1) / n_1 \quad (N_1 \text{ は } 0 \text{ または正の整数})$$

となり、該第 2 の層の膜厚が、【0015】

【数 4 5】

$$(\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_2) / n_2 \quad (N_2 \text{ は } 0 \text{ または正の整数})$$

となるように成膜する工程と、屈折率  $n_1$  の第 3 の層の膜厚を  $d_3$  としたとき、【0016】

【数 4 6】

$$d_3 = d + (\lambda/2 n_1) \times N_3 \quad (N_3 \text{ は } 0 \text{ または正の整数})$$

及び【0017】

【数 4 7】

$$\cos^2 \Delta = \frac{\frac{n_1^2}{n_0 n_2} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\left(1 + \frac{n_1^2}{n_0 n_2}\right) (n_1^2 a^4 - n_0^2)}$$

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda}$$

(特開 2000-332342)

(3)

(4)

## 【0018】

を満足するように該第3の層の膜厚  $d_3$  を決定する工程と、最上の第2の層の表面上に、前記第3の層の膜厚  $d_3$  を決定する工程で決定された膜厚を有する第3の層を成膜する工程とを有する反射膜の製造方法が提供される。

## 【0019】

この反射膜の、屈折率  $n_{s1}$  の媒質中における反射率と、屈折率  $n_{s2}$  の媒質中における反射率とは等しい。このため、屈折率  $n_{s1}$  の媒質中で、この反射膜を適用した光学部材の光学特性を測定することにより、屈折率  $n_{s2}$  の媒質中における光学特性を予測することができる。

## 【0020】

本発明の他の観点によると、光共振器を画定する2つの反射端面を有する発振波長  $\lambda$  のレーザ媒質と、前記レーザ媒質により画定される光共振器の少なくとも一つの端面上に、屈折率  $n_1$ 、厚さ 【0021】

## 【数48】

$(\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_1) / n_1$  ( $N_1$  は0または正の整数)

の第1の層と、屈折率  $n_2$ 、厚さ 【0022】

## 【数49】

$(\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_2) / n_2$  ( $N_2$  は0または正の整数)

の第2の層とが交互に  $k$  組 ( $k$  は正の整数) 積層された積層構造と、前記積層構造の最上の第2の層の表面上に形成された屈折率  $n_1$  の第3の層と、前記第3の層の表面を覆い、屈折率  $n_s$  の材料で形成された保護部材とを有し、前記第3の層の厚さ  $d_3$  を 【0023】

## 【数50】

$d_3 = d + (\lambda/2 n_1) \times N_3$  ( $N_3$  は0または正の整数)

としたとき、【0024】

## 【数51】

$$\cos^2 \Delta = \frac{\frac{n_1^2}{ns} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\left(1 + \frac{n_1^2}{ns}\right) (n_1^2 a^4 - n_0^2)}$$

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d}{\lambda}$$

$$a = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k \quad (k \text{ は } 0 \text{ または正の整数})$$

## 【0025】

を満足するレーザ装置が提供される。

## 【0026】

この反射膜の、屈折率  $n_{s1}$  の媒質中における反射率と、屈折率  $n_{s2}$  の媒質中における反射率とは等しい。このため、屈折率  $n_{s1}$  の媒質中でレーザダイオードの特性を測定することにより、屈折率  $n_{s2}$  の媒質中における特性を予測することができる。

## 10 【0027】

本発明の他の観点によると、反射面が画定された屈折率  $n_0$  の光学媒質と、前記光学媒質の反射面上に、屈折率  $n_1$  の第1の層と、屈折率  $n_2$  の第2の層とが交互に  $k$  組 ( $k$  は正の整数) 積層された積層構造であって、該第1及び第2の層の、ある波長  $\lambda$  の光に対する光学膜厚が、共に、【0028】

## 【数52】

$\lambda/4 + (\lambda/2) \times N$  ( $N$  は0または正の整数)

である前記積層構造と、前記積層構造の最上層の第2

20 の層の表面上に形成された屈折率  $n_1$  の第3の層と、前記第3の層の表面を覆い、屈折率  $n_s$  の材料で形成された保護部材とを有し、前記第3の層の厚さ  $d_3$  を 【0029】

## 【数53】

$d_3 = d + (\lambda/2 n_1) \times N$  ( $N$  は0または正の整数)

としたとき、【0030】

## 【数54】

$$\cos^2 \Delta = \frac{\frac{n_1^2}{ns} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\left(1 + \frac{n_1^2}{ns}\right) (n_1^2 a^4 - n_0^2)}$$

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d}{\lambda}$$

$$10 \quad a = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k \quad (k \text{ は } 0 \text{ または正の整数})$$

## 【0031】

を満足する光学装置が提供される。

## 【0032】

第1～第3の層により構成された反射膜の、大気中における反射率が、保護部材で覆われた状態における反射率とほぼ等しい。このため、保護部材で覆う前に大気中で光学特性を測定することにより、保護部材で覆われた後の光学特性を予測することができる。

## 50 【0033】

(特開 2000-332342)

(5)

本発明の他の観点によると、反射面が画定された屈折率 $n_0$ の光学媒質と、前記光学媒質の反射面上に、屈折率 $n_1$ の第1の層と、屈折率 $n_2$ の第2の層とが交互にk組（kは正の整数）積層された積層構造であって、該第1及び第2の層の、ある波長 $\lambda$ の光に対する光学膜厚が、共に、【0034】

【数55】

$$\lambda/4 + (\lambda/2) \times N \quad (N \text{は} 0 \text{または正の整数})$$

である前記積層構造と、前記積層構造の最上層の第2の層の表面上に形成された屈折率 $n_1$ の第3の層であつて、該第3の層の厚さ $d_3$ を、【0035】

【数56】

$$d_3 = d + (\lambda/2 n_1) \times N \quad (N \text{は} 0 \text{または正の整数})$$

としたとき、【0036】

【数57】

$$\arccos \left( \sqrt{\frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{1 + \frac{n_1^2}{16} (n_1^2 a^4 - n_0^2)}} \right) \times \frac{\lambda}{2 n_1} \leq d \leq \arccos \left( \sqrt{\frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{1 + \frac{n_1^2}{16} (n_1^2 a^4 - n_0^2)}} \right) \times \frac{\lambda}{2 n_1}$$

【0037】

または、【0038】

【数58】

$$\arccos \left( - \sqrt{\frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{1 + \frac{n_1^2}{16} (n_1^2 a^4 - n_0^2)}} \right) \times \frac{\lambda}{2 n_1} \leq d \leq \arccos \left( - \sqrt{\frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{1 + \frac{n_1^2}{16} (n_1^2 a^4 - n_0^2)}} \right) \times \frac{\lambda}{2 n_1}$$

$$a = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^4$$

【0039】

を満足する光学装置が適用される。

【0040】

第1～第3の層によって多層反射膜が構成される。第3の層の膜厚を上記範囲内に設定すると、第3の層に接する外部媒質がある第1の屈折率を有する場合の反射率と、第2の屈折率を有する場合の反射率とが等しくなる。

【0041】

本発明の他の観点によると、光共振器を画定する2つの反射面を有する発振波長 $\lambda$  [nm]、実効屈折率 $n_0$ のレーザ媒質と、前記レーザ媒質の少なくとも1つの反射面上に形成された酸化シリコンからなる厚さ $d_1$  [nm]の第1の層と、前記第1の層の表面上に形成された屈折率 $n_{Si}$ のシリコンからなる厚さ $d_2$  [nm]の第2の層と、前記第2の層の表面上に形成された酸化シリコンからなる厚さ $d_3$  [nm]の第3の層とを有し、実効屈折率 $n_0$ が3.18以上3.28以下であり、膜厚 $d_1$ が、【0042】

【数59】

$$(0.11 - 9.2 \times 10^{-3} R + 2.2 \times 10^{-4} R^2)$$

(6)

$\lambda/1.45 \pm 1.5$ の範囲内であり、膜厚 $d_2$ が、【0043】

【数60】

$(-8.7 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-3} R - 1.2 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.6 + 1.7/n_{Si}) \lambda \pm 1.5$ の範囲内であり、膜厚 $d_3$ が、【0044】

【数61】

$(0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2)$   
 $\lambda/1.45 \pm 1.5$ の範囲内であり、上式中のR [%]が15以上30以下であるレーザ装置が提供される。

【0045】

本発明の他の観点によると、反射面を有し、屈折率 $n_0$ が3.18以上3.28以下である光学媒質を準備する工程と、反射すべき光の波長 $\lambda$ 及び反射率R [%]を決定する工程と、前記光学媒質の反射面上に、酸化シリコンからなる厚さ $d_1$  [nm]の第1の層であって、該厚さ $d_1$ が、【0046】

【数62】

$(0.11 - 9.2 \times 10^{-3} R + 2.2 \times 10^{-4} R^2)$   
 $\lambda/1.45 \pm 1.5$ の範囲内である第1の層を形成する工程と、前記第1の層の表面上に、屈折率 $n_{Si}$ のシリコンからなる厚さ $d_2$  [nm]の第2の層であって、該厚さ $d_2$ が、【0047】

【数63】

$(-8.7 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-3} R - 1.2 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.6 + 1.7/n_{Si}) \lambda \pm 1.5$ の範囲内である第2の層を形成する工程と、前記第2の層の表面上に、酸化シリコンからなる厚さ $d_3$  [nm]の第3の層であって、該厚さ $d_3$ が、【0048】

30 【数64】

$(0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2)$   
 $\lambda/1.45 \pm 1.5$ の範囲内である第3の層を形成する工程とを有する反射膜の製造方法が提供される。

【0049】

第1～第3の層の膜厚を上述の式を満足するように選ぶと、空気中に配置されている場合の反射率と、樹脂封止した後の反射率との差を小さくすることができる。

【0050】

【発明の実施の形態】

40 図1は、本発明の第1の実施例による反射膜の断面図を示す。屈折率 $n_0$ の光学媒質1の反射面上に、積層構造を有する反射膜5が形成されている。反射膜5は、屈折率 $n_1$ の第1の層2と屈折率 $n_2$ の第2の層3とが交互にk組積層され、最上の第2の層3の表面上に、屈折率 $n_1$ の第3の層4が形成された積層構造を有する。ここで、kは、正の整数である。

【0051】

反射すべき光の波長を $\lambda$ としたとき、第1の層2の膜厚 $d_1$ は、【0052】

50 【数65】

(特開 2000-332342)

(7)

$d_1 = (\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_1) / n_1$  ( $N_1$  は 0 または正の整数)

である。第2の層3の膜厚  $d_2$  は、【0053】

【数66】

$d_2 = (\lambda/4 + (\lambda/2) \times N_2) / n_2$  ( $N_2$  は 0 または正の整数)

である。

【0054】

外部の媒質(第3の層4に接している媒質)の屈折率が  $n_{s1}$  である場合と  $n_{s2}$  である場合との反射率が等しくなるように反射膜5を設計する方法について説明する。第3の層4の膜厚  $d_3$  は、【0055】

【数67】

$d_3 = d + (\lambda/2 n_1) \times N_3$  ( $N_3$  は 0 または正の整数)

及び、【0056】

【数68】

$$\cos^2 \Delta = \frac{\frac{n_1^2}{ns_1 ns_2} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\left(1 + \frac{n_1^2}{ns_1 ns_2}\right) (n_1^2 a^4 - n_0^2)}$$

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda}$$

$$a = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k$$

( $k$  は 0 または正の整数)

【0057】

を満足するように選択されている。

【0058】

波長  $\lambda$  の光に対する反射膜5の反射率  $R$  [%] は、【0

059】

【数69】

$$R^2 = 1 - \frac{4 \times \frac{n_0}{ns}}{\left[ \left( 1 - \left( \frac{n_1}{ns} \right)^2 \right) a^2 - \left[ \left( \frac{n_0}{n_1} \right)^2 - \left( \frac{n_0}{ns} \right)^2 \right] b^2 \right] \cos^2 \Delta + \left[ \left( \frac{n_1}{ns} \right) a + \left( \frac{n_0}{n_1} \right) b \right]^2}$$

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda}$$

$$a = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k$$

$$b = \left(\frac{n_0}{n_1}\right)^k$$

(8)

【0060】

と表される。ここで、 $n_s$  は、第3の層4に接触している外部媒質の屈折率である。

【0061】

式(68)を満足するように第3の層4の膜厚を設定しておくと、式(69)からわかるように、外部媒質の屈折率が  $n_{s1}$  の場合の反射率と、屈折率が  $n_{s2}$  の場合の反射率とが等しくなる。例えば、 $n_{s1} = 1$  とし、 $n_{s2}$  を、反射膜5の実際の使用時における外部媒質の屈折率に等しくしておくと、大気中または不活性ガス中における反射膜5の反射率が、実際の使用時における反射率に等しくなる。

【0062】

このため、大気中で反射率の評価実験を行うことにより、実際の使用時における反射率を高精度で予測することができる。なお、第1の層2、第2の層3、及び第3の層4を、これらの膜厚が上述の計算で得られた理想膜厚と等しくなるように成膜することは困難である。現実的には、各層の膜厚が、理想膜厚から  $\pm 20\%$  程度相違している場合であっても、良好な効果が得られるであろう。従って、本明細書において、薄膜の「膜厚」は、計算式により与えられる理想膜厚から  $\pm 20\%$  増減した膜厚を含むものとする。

【0063】

図2は、上記第1の実施例による反射膜を用いた第2の実施例による半導体レーザ装置の断面図を示す。上部が開口した外枠10内にプラットホーム13が配置されている。プラットホーム13は、例えばシリコン基板により構成される。プラットホーム13の表面上に、レーザダイオード8及びフォトダイオード14が搭載されている。レーザダイオード8は、例えばInGaAsP/InP系の発振波長  $1.3\text{ }\mu\text{m}$  のファブリペロー型レーザ装置である。この光共振器の等価屈折率  $n_0$  は  $3.23$  である。

【0064】

レーザダイオード8の光共振器の両端面には、上記第1の実施例による反射膜5A及び5Bが成膜されている。図1における第1の層2及び第3の層4はSiO<sub>2</sub>で形成され、その屈折率  $n_1$  は  $1.45$  であり、第2の層3はSiで形成され、その屈折率  $n_2$  は  $3.8$  である。SiO<sub>2</sub>膜及びSi膜は、例えばイオンアシスト蒸着、プラズマ励起型化学気相成長、熱化学気相成長、またはスパッタリング等により形成することができる。

【0065】

反射膜5Bを透過して後方に放射されたレーザ光は、フォトダイオード14に入射する。フォトダイオード14の出力信号を測定することにより、レーザダイオード8の発振状況を監視することができる。

【0066】

反射膜5Aを透過して前方に放射されたレーザ光の

(特開 2000-332342)

(9)

一部は、光ファイバ12に入射する。光ファイバ12は、プラットフォーム13の表面上に載置され、押え板15により、その位置が固定されている。光ファイバ12は、外枠10の側面を貫通して、外枠10の外まで導出されている。光ファイバ12の、外枠10を貫通する部分は、ホルダ11で保護されている。

【0067】

フォトダイオード14、レーザダイオード8、及び光ファイバ12の端部を、封止樹脂16が覆う。封止樹脂16は、例えばシリコーン樹脂等で形成される。シリコーン樹脂の屈折率は、1.38である。外枠10の開口部は、蓋17で塞がれている。外枠10の底に、複数の信号入出力用端子18が取り付けられている。

【0068】

式(44)及び式(45)から、図1における第1の層2の膜厚 $d_1$ は224nm、第2の層2の膜厚 $d_2$ は86nmとなる。なお、ここでは、 $N_1=N_2=0$ とした。式(68)の $n_{s1}=1$ 、 $n_{s2}=1.38$ とすると、 $c_{os^2\Delta}=0.395$ になる。これから、第3の層4の膜厚 $d_3$ は、一例として、127nmと求められる。このとき、式(69)から、反射率R[%]は、76.7%となる。

【0069】

図3は、上記第2の実施例によるレーザダイオードの、樹脂封止前後のしきい値の変化を、動作温度の関数として示す。横軸は、動作温度を単位°Cで表し、縦軸はシリコーン樹脂で封止する前後のしきい値の変動幅を単位%で表す。グラフ中の実線aは、上記第2の実施例によるレーザダイオードのしきい値変動幅を示し、実線bは、図1に示す第3の層4を設けない反射膜を用いたレーザダイオードのしきい値変動幅を示す。

【0070】

第1の実施例による反射膜を用いた場合には、しきい値変動幅が5%以下である。これに対し、第3の層を設けない場合には、しきい値変動幅が20~45%程度になる。このように、第1の実施例の反射膜を用いることにより、樹脂封止前後のしきい値変動幅を少なくすることができる。特に、動作温度が高い場合に、その効果が高いことがわかる。

【0071】

これは、第1の実施例による反射膜の大気中における反射率と、樹脂封止後における反射率とがほぼ等しいめである。図1に示す第3の層4を用いない場合には、大気中における反射率と樹脂封止後における反射率とが異なるため、樹脂封止前後でしきい値が大きく変動する。第1の実施例による反射膜を用いると、大気中でレーザダイオードのしきい値を評価し、樹脂封止後のしきい値を高精度に予測することができる。

【0072】

上記第2の実施例では、図1の第1及び第2の層2及

(10)

び3として、SiO<sub>2</sub>とSiを用いたが、その他の材料、例えばAl、Si、Ti、Zn、Mg、またはLiの酸化物、窒化物、または弗化物を用いてもよい。また、反射膜をレーザダイオードの光共振器端面に形成する場合には、端面に直接接する第1の層を絶縁材料で形成することが好ましい。

【0073】

上記第2の実施例では、ファブリペロー型レーザを例にとって説明したが、第1の実施例による反射膜は、その他のレーザダイオード、例えば分布帰還型レーザダイオード、分布ブリッジ反射型レーザダイオードに適用することも可能である。

【0074】

通常の材料の屈折率は1以上であるため、式(68)の $n_{s1}$ 及び $n_{s2}$ は共に1以上である。また、一般的にレーザダイオードの発振波長域で使用され得る反射膜材料の屈折率は4以下である。このため、一般的には、

【0075】

【数70】

20  $1 \leq (n_{s1} \times n_{s2}) \leq 1.6$ と考えられる。

【0076】

この条件と、式(68)から、【0077】

【数71】

$$\arccos \left( \frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\sqrt{1 + \frac{n_1^2}{16}} (n_1^2 a^4 - n_0^2)} \right) \times \frac{\lambda}{2\pi n_1} \leq d \leq \arccos \left( \sqrt{\frac{n_1^2 n_2^2 a^4 - n_0^2}{(1 + n_1^2) (n_1^2 a^4 - n_0^2)}} \right) \times \frac{\lambda}{2\pi n_1}$$

【0078】

及び【0079】

【数72】

$$\arccos \left( -\sqrt{\frac{n_1^2 n_2^2 a^4 - n_0^2}{(1 + n_1^2) (n_1^2 a^4 - n_0^2)}} \right) \times \frac{\lambda}{2\pi n_1} \leq d \leq \arccos \left( -\sqrt{\frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{1 + \frac{n_1^2}{16}} (n_1^2 a^4 - n_0^2)} \right) \times \frac{\lambda}{2\pi n_1}$$

$$a = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

【0080】

が得られる。すなわち、図1の第3の層4の膜厚をd<sub>3</sub>とした時、膜厚d<sub>3</sub>は、式(67)、(71)、及び(72)を満足するように制約を受ける。例えば、k=1、n<sub>0</sub>=3.23、n<sub>1</sub>=1.45、n<sub>2</sub>=3.8の場合、【0081】

【数73】

49nm ≤ d ≤ 138nm、または、311nm ≤ d ≤ 411nmが得られる。

【0082】

上記第2の実施例では、レーザダイオードの反射端面に適用する反射膜について説明したが、第1の実施例による反射膜は、レーザダイオード以外の屈折率n<sub>s1</sub>の

(特開 2000-332342)

(11)

光学媒質の反射面上に形成してもよい。このとき、反射膜を屈折率  $n_{s2}$  の光学媒質で覆う。反射膜がレーザダイオードに適用されている場合には、そのレーザダイオードの発振波長が、この反射膜の反射すべき光の波長に相当する。反射膜が、光学媒質の反射端面上に形成されている場合には、その反射膜の反射すべき光の波長は、下記の方法で特定することができる。

【0083】

図1に示す第1の層2及び第2の層3の光学膜厚は、共に、【0084】

【数74】

$\lambda/4 + (\lambda/2) \times N$  (Nは0または正の整数) である。ここで、光学膜厚とは、実際の膜厚に、その膜の屈折率を乗じた膜厚を意味する。反射膜を構成する第1の層2と第2の層3の膜厚を測定し、光学膜厚を求める。この第1及び第2の層の光学膜厚に対し、式(74)のNを種々変化させて波長  $\lambda$  を特定する。このとき、第1の層に関するNと第2の層に関するNとは、等しくなくてもよい。

【0085】

反射すべき波長が特定されると、 $n_{s1}=1$  を代入した式(68)、及び式(67)から、図1に示す第3の層4の好適な膜厚  $d_3$  を求めることができる。このように形成された反射膜においては、屈折率が1の雰囲気中、例えば大気中における反射率と、屈折率  $n_{s2}$  の媒質中における反射率とが等しい。このため、大気中で反射率を評価することにより、屈折率  $n_{s2}$  の媒質中における反射率を高精度に予測することができる。

【0086】

次に、本発明の第3の実施例による光学装置の構成について説明する。上記第1の実施例の反射膜は、基本的に、対象とする光の波長の  $1/4$  の厚さの膜の積層を含んでいる。第3の実施例による反射膜は3層構造を有し、各膜の厚さは波長の  $1/4$  にこだわることなく決定される。

【0087】

図4に、第3の実施例による光学装置の断面図を示す。光学媒質20の表面上に、第1の層21、第2の層22、及び第3の層23が積層されている。第1～第3の層21～23の3層により反射膜24が構成される。光学媒質20は、等価屈折率3.23、発振波長1.31μmのレーザダイオードであり、第1の層21及び第3の層23は、屈折率1.45のSiO<sub>2</sub>で形成され、第2の層22は、屈折率3.8のシリコンで形成されている。

【0088】

第1～第3の層21～23の膜厚を種々変化させて、上記3層構造の反射膜24を大気中に置いた場合の波長1.31μm及びその近傍の波長の光に対する反射率と、屈折率1.38の樹脂で被覆した場合のそれとを計算により求めた。

(12)

【0089】

図5は、大気中に配置した場合の反射率と樹脂封止した場合の反射率とがほぼ等しくなり、かつ対象とする光の波長が変動した場合の反射率の変動が比較的少ないという条件を満足する膜厚の組み合わせを、反射率R [%] の関数として示す。横軸は反射率Rを単位%で表し、縦軸は膜厚を単位nmで表す。図中の実線a1、a2、及びa3は、それぞれ第1、第2、及び第3の層21、22、及び23の膜厚を示す。

10 【0090】

一般的に、レーザダイオードの劈開面と空気との界面の反射率は30%程度である。通常、レーザダイオードに適用される反射膜は、劈開面と空気との界面の反射率以下とされる。このため、図5の反射率の上限を30%としている。また、反射率が15%以下となる領域では、所望の解が得られなかった。すなわち、3層構造の反射膜を用いる場合には、反射膜の設計値を15%以上とすることが好ましい。このため、図5の反射率の下限を15%としている。

20 【0091】

第1の層21の膜厚  $d_1$  (曲線a1) を反射率R [%] の2次式で近似すると、【0092】

【数75】

$d_1 = (0.11 - 9.2 \times 10^{-3}R + 2.2 \times 10^{-4}R^2) \lambda_0/n_1$  となる。ここで、 $\lambda_0$  は対象とする光の波長、すなわち1.31μmであり、 $n_1$  は第1の層21の屈折率、すなわち1.45である。なお、膜厚  $d_1$  は波長  $\lambda_0$  にほぼ比例すると考えられるため、膜厚  $d_1$  を波長  $\lambda_0$  の一次式として表した。

30 【0093】

同様に、第2の層22の膜厚  $d_2$  (曲線a2) は、【0094】

【数76】

$d_2 = (-8.7 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-3}R - 1.2 \times 10^{-5}R^2) \times (-3.6 + 1.7/n_2) \lambda_0$  と近似される。ここで、 $n_2$  は第2の層22の屈折率、すなわち3.8である。なお、 $(-3.6 + 1.7/n_2)$  の項は、屈折率  $n_2$  を3.6から3.85まで変化させて得られた図5と同様のグラフから導き出された項である。

40 【0095】

実際に、プラズマ励起型化学気相成長、スパッタリング等により形成したシリコン膜の屈折率は、成膜条件のばらつき等により、概ね3.6～3.85の範囲内で変動する。従って、第2の層22の膜厚は、実際の成膜条件に適合した屈折率  $n_2$  を式(76)に代入して決定することが好ましい。

【0096】

第3の層23の膜厚  $d_3$  (曲線a3) は、【0097】

【数77】

$d_3 = (0.23 - 4.9 \times 10^{-3}R + 7.7 \times 10^{-5}$

(特開 2000-332342)

(13)

$R^2$ )  $\lambda_0/n_3$  と近似される。ここで、 $n_3$  は第3の層2 3の屈折率、すなわち 1. 45 である。

【0098】

また、各膜厚  $d_1 \sim d_3$  が、式 (75) ~ (77) から求まる値を中心として  $\pm 15 \text{ nm}$  の範囲 (図5の破線の範囲) で増減した場合、計算結果によると、反射率は  $\pm 3\%$  程度の範囲内で変動する。例えば、反射率が 25% となるように膜厚を設定した場合、膜厚の  $15 \text{ nm}$  程度の変動により反射率が 22% と 28% との間で変動する。この程度の反射率の変動は、許容範囲内である。

【0099】

また、各膜厚  $d_1 \sim d_3$  が、目標値から  $\pm 15 \text{ nm}$  程度増減した場合、レーザダイオードを空気中に配置した場合の反射率と樹脂封止した場合の反射率との差は、高々 2% 程度であるという計算結果が得られた。これに対し、単層反射膜を用いた場合には、その差は 10% にもなる。すなわち、各膜厚  $d_1 \sim d_3$  が  $\pm 15 \text{ nm}$  の範囲で増減しても、空気中における反射率と樹脂封止後の反射率との差を小さくするという十分な効果が期待される。例えば、反射率を 26% とした場合の好適な膜厚  $d_1$ 、 $d_2$ 、及び  $d_3$  は、それぞれ  $2.8. 2 \text{ nm}$  以下、 $6.6. 2 \sim 9.6. 2 \text{ nm}$ 、及び  $1.2. 1. 2 \sim 1.5. 1. 2 \text{ nm}$  となる。

【0100】

なお、第1の層2 1 の膜厚を目標値から  $-15 \text{ nm}$  だけ薄くすると、膜厚  $d_1$  が  $0 \text{ nm}$  になってしまう場合がある。ただし、実際には第1の層2 1 を成膜するため、現実には膜厚  $d_1$  が  $0 \text{ nm}$  になることはなく、 $0 \text{ nm}$  よりも厚くなる。現実的には、少なくとも  $2 \text{ nm}$  以上の膜厚になるであろう。

【0101】

上記第3の実施例では、図5からわかるように、第1の層2 1 の膜厚  $d_1$  の取りうる範囲は  $40 \text{ nm}$  以下である。従来の多層反射膜では、各層の厚さが  $1/4$  波長を基準に決定されるため、一般的なレーザダイオードに用いられる反射膜の各層の膜厚は  $2.20 \text{ nm}$  以上である。光学媒体に接する第1の層の膜厚を  $40 \text{ nm}$  以下としていることは、第3の実施例の大きな特徴といえる。

【0102】

なお、第3の実施例では、光学媒質の実効屈折率を 3. 23 とした場合について考察したが、光学媒質の屈折率が  $3. 23 \pm 0. 05$  の範囲内である場合に、好適な膜厚は、上述の式 (75) ~ (77) で近似することができる。

【0103】

上記第3の実施例では、光学媒質に接する第1の層2 1 を  $\text{SiO}_2$  で形成し、その上の第2の層2 2 をシリコンで形成し、その上の第3の層2 3 を  $\text{SiO}_2$  で形成した。その他の材料についても、好ましい膜厚の組み合わせを計算により求めた。以下、他の材料を用いた場合の第1～第3の変形例による光学装置の膜厚の組み合わ

(14)

せについて説明する。なお、第1～第3の変形例で使用される光学媒質の屈折率は、第3の実施例の場合と同様である。

【0104】

まず、第3の実施例の第1の変形例について説明する。第1の変形例においては、図4の第1の層2 1 及び第3の層2 3 を酸化アルミニウムで形成し、第2の層2 2 をシリコンで形成する。なお、酸化アルミニウムで形成された第1及び第3の層の屈折率  $n_1$  及び  $n_3$  を 1. 72 とした。

【0105】

第1の層2 1 の好適な膜厚  $d_1$ 、第2の層2 2 の好適な膜厚  $d_2$ 、及び第3の層2 3 の好適な膜厚  $d_3$  は、それぞれ、【0106】

【数78】

$$d_1 = (1. 7 \times 10^{-3} + 1. 1 \times 10^{-3}R + 3. 1 \times 10^{-5}R^2) \lambda_0/n_1$$

$$d_2 = (2. 3 \times 10^{-2} + 3. 5 \times 10^{-3}R - 5. 6 \times 10^{-5}R^2) \times (-1. 4 + 8. 9/n_2)$$

$$d_3 = (0. 21 - 1. 9 \times 10^{-3}R + 2. 1 \times 10^{-5}R^2) \lambda_0/n_3$$

となる。

【0107】

この場合の、各膜厚の許容範囲は、上述の式から求められた目標膜厚  $d_1 \sim d_3$  の  $\pm 15 \text{ nm}$  である。また、第1の層の膜厚の上限は  $60 \text{ nm}$  である。例えば、反射率を 26% にするための好適な膜厚  $d_1$ 、 $d_2$ 、及び  $d_3$  は、それぞれ、 $23. 8 \sim 53. 8 \text{ nm}$ 、 $75. 8 \sim 105. 8 \text{ nm}$ 、及び  $117. 5 \sim 147. 5 \text{ nm}$  となる。

【0108】

次に、第3の実施例の第2の変形例について説明する。第2の変形例においては、図4の第1の層2 1 を酸化シリコンで形成し、第2の層2 2 をシリコンで形成し、第3の層2 3 を酸化アルミニウムで形成する。すなわち、 $n_1 = 1. 45$ 、 $n_2 = 3. 6 \sim 3. 85$ 、 $n_3 = 1. 72$  である。

【0109】

第1の層2 1 の好適な膜厚  $d_1$ 、第2の層2 2 の好適な膜厚  $d_2$ 、及び第3の層2 3 の好適な膜厚  $d_3$  は、それぞれ、【0110】

【数79】

$$d_1 = (-3. 1 \times 10^{-5} + 3. 6 \times 10^{-3}R - 3. 5 \times 10^{-5}R^2) \lambda_0/n_1$$

$$d_2 = (3. 5 \times 10^{-2} + 2. 5 \times 10^{-3}R - 3. 6 \times 10^{-5}R^2) \times (-2. 6 + 1. 4/n_2)$$

$$d_3 = (0. 21 - 1. 9 \times 10^{-3}R + 2. 1 \times 10^{-5}R^2) \lambda_0/n_3$$

となる。

【0111】

この場合の、各膜厚の許容範囲は、上述の式から求められた目標膜厚  $d_1 \sim d_3$  の  $\pm 15 \text{ nm}$  である。また、第1の層の膜厚の上限は  $40 \text{ nm}$  である。例えば、反射率を 26% にするための好適な膜厚  $d_1$ 、 $d_2$ 、及び  $d_3$  は、それぞれ、 $20. 4 \sim 50. 4 \text{ nm}$ 、 $73. 4 \sim 10$

(特開 2000-332342)

(15)

3. 4 nm、及び 117. 5 ~ 147. 5 nm となる。

【0112】

次に、第3の実施例の第3の変形例について説明する。第3の変形例においては、図4の第1の層21を酸化アルミニウムで形成し、第2の層22をシリコンで形成し、第3の層23を酸化シリコンで形成する。すなわち、 $n_1 = 1.72$ 、 $n_2 = 3.6 \sim 3.85$ 、 $n_3 = 1.45$  である。

【0113】

第1の層21の好適な膜厚 $d_1$ 、第2の層22の好適な膜厚 $d_2$ 、及び第3の層23の好適な膜厚 $d_3$ は、それぞれ、【0114】

【数80】

$$d_1 = (0.12 - 1.2 \times 10^{-2}R + 3.2 \times 10^{-4}R^2) \lambda_0 / n_1 d_2 = (-2.7 \times 10^{-2} + 3.4 \times 10^{-3}R + 2.4 \times 10^{-5}R^2) \times (-3.8 + 2.8/n_2) \lambda_0 d_3 = (0.23 - 4.9 \times 10^{-3}R + 7.7 \times 10^{-5}R^2) \lambda_0 / n_3$$

となる。

【0115】

この場合の、各膜厚の許容範囲は、上述の式から求められた目標膜厚 $d_1 \sim d_3$ の±15 nm である。また、第1の層の膜厚の上限は 50 nm である。例えば、反射率を 26% にするための好適な膜厚 $d_1$ 、 $d_2$ 、及び $d_3$ は、それぞれ、0.9 ~ 30.9 nm、6.9 ~ 9.9.6 nm、及び 12.1.2 ~ 15.1.2 nm となる。

【0116】

上述のように、第1 ~ 第3の層の材料の組み合わせを変えると、各層の好適な膜厚も変わる。種々の材料の組み合わせについて、図5と同様のグラフを求めるにより、樹脂封止前の反射率と樹脂封止後の反射率との差の小さな3層反射膜を得ることが可能になる。

【0117】

図6は、第3の実施例（第1 ~ 第3の変形例を含む）による反射膜を図2に示すレーザダイオードに適用した場合の、樹脂封止前と樹脂封止後とのしきい値の変動量を、樹脂封止前のしきい値に対する比率で示す。横軸及び縦軸は、図3のそれらと同様である。

【0118】

図6中の折れ線群cが、第3の実施例による3層反射膜を用いた場合のしきい値の変動幅を示し、折れ線群dが、従来の単層反射膜を用いた場合のしきい値の変動幅を示す。従来の場合には、樹脂封止することによりしきい値が 20% 以上上昇している。これに対し、第3の実施例による3層反射膜を用いた場合には、しきい値変動

(16)

率が±5% 以下である。このように、第3の実施例による3層反射膜を用いることにより、樹脂封止することによって生ずるしきい値の変動を抑制することができる。

【0119】

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

【0120】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によると、反射膜の外部媒質が取り替えられた場合でも、特定の波長の光に対する反射率の変動幅を少なくすることができる。この反射膜をレーザダイオードの光共振器の端面に適用すると、大気中でしきい値を測定することにより、樹脂封止後のしきい値を高精度に予測することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1の実施例による光学装置の断面図である。

【図2】 第2の実施例による半導体レーザ装置の断面

図である。

【図3】 第2の実施例及び比較例による半導体レーザ装置の、樹脂封止前後のしきい値の変動幅の温度特性を示すグラフである。

【図4】 第3の実施例による光学装置の断面図である。

【図5】 第3の実施例による光学装置の反射膜に用いられる多層膜の膜厚を示すグラフである。

【図6】 第3の実施例及び比較例による反射膜を適用した半導体レーザ装置の、樹脂封止前後のしきい値の変動幅の温度特性を示すグラフである。

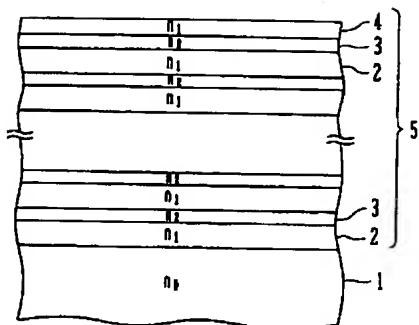
30 【符号の説明】

1. 20 光学媒質
2. 21 第1の層
3. 22 第2の層
4. 23 第3の層
5. 24 反射膜
- 10 外枠
- 11 ホルダ
- 12 光ファイバ
- 13 プラットホーム
- 14 フォトダイオード
- 15 押え板
- 16 封止樹脂
- 17 蓋
- 18 信号入出力用端子

40

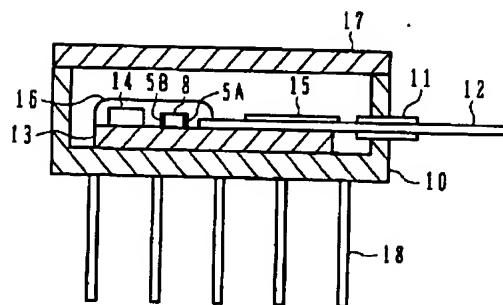
(特開 2000-332342)

【図1】  
第1の実施例による光学装置

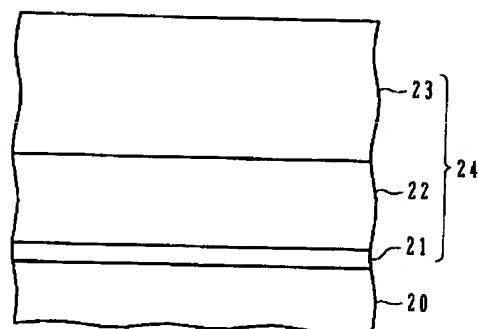
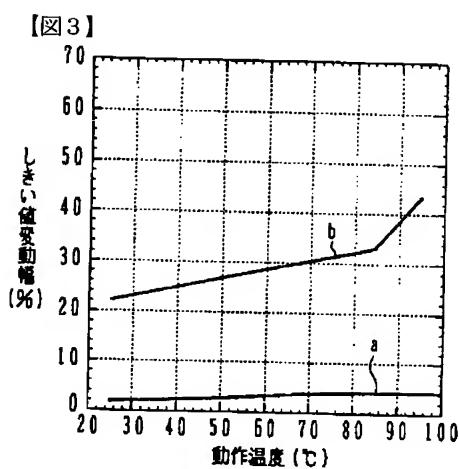


1:光学媒質 4:第3の層  
2:第1の層 5:反射膜  
3:第2の層

【図2】  
第2の実施例による半導体レーザ装置

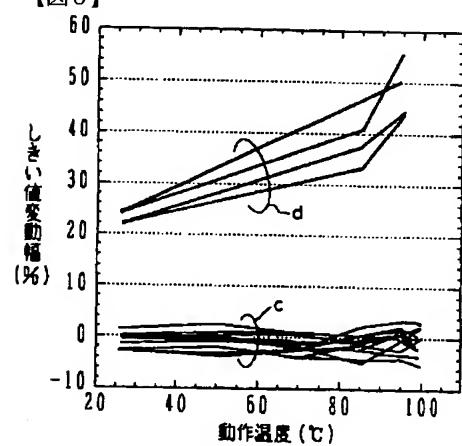


【図4】  
第3の実施例による光学装置



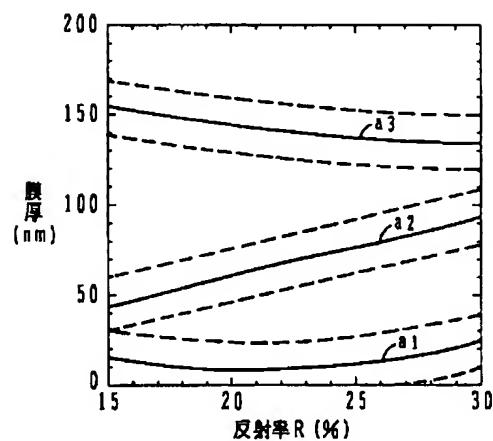
20:光学媒質 23:第3の層  
21:第1の層 24:反射膜  
22:第2の層

【図6】



【図5】

第3の実施例による光学装置に  
用いられる多層膜の膜厚



13. 1993 (2000)